

高功率 532 nm 千赫兹皮秒激光放大器

王 庆¹ 魏志义¹ 沈忠伟¹ 王兆华¹ 杨军红² 麻云凤²

(¹ 中国科学院物理研究所光物理重点实验室, 北京凝聚态物理国家实验室, 北京 100190)
² 北京国科世纪激光技术有限公司, 北京 100192)

摘要 利用半导体激光器抽运的 Nd:YAG 晶体实现了 5.4 mJ、1 kHz 的 532 nm 皮秒激光放大器, 由自制的皮秒振荡器种子源、一级再生放大器、一个两通放大器、一个主放大器和倍频器组成。得到绿光的光束质量因子在切线和弧矢方向分别为 1.39 和 1.96, 功率不稳定性小于 0.3%。

关键词 激光器; 激光放大器; 皮秒; 千赫兹; 532nm

中图分类号 TN248 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS201333.s114004

High-Power 532 nm Kiloherzt Picosecond Laser Amplifier

Wang Qing¹ Wei Zhiyi¹ Shen Zhongwei¹ Wang Zhaohua¹
Yang Junhong² Ma Yunfeng²

(¹ Key Laboratory of Optical Physics, Beijing National Laboratory for Condensed Matter Physics, Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)
² Beijing GK Laser Technology Co., Ltd., Beijing 100192, China)

Abstract We demonstrate a 532 nm and 1 kHz picosecond laser amplifier which is made up of one home-made picosecond oscillator seed, a regenerative amplifier, two-pass amplifier, a main amplifier, and a frequency doubler. The green laser has a beam quality factor of 1.39 and 1.96 for tangential direction and sagittal direction, respectively, and the long-term stability root mean square (RMS) is less than 0.3%.

Key words lasers; laser amplifier; picosecond; kilohertz; 532 nm

OCIS codes 140.3280; 140.3480; 140.3530; 140.7090

1 引 言

高能量的全固态抽运皮秒激光放大器, 由于其较短的脉冲宽度、高的峰值功率, 使其在高精细材料的激光加工、高精度激光测距以及光啁啾参量放大的抽运等方面有着重要应用^[1]。国际上在皮秒放大方面有许多工作报道^[2~5], 并实现了高重复频率、高平均功率的皮秒放大激光输出。国内也有很多单位在皮秒激光放大方面开展了工作, 取得了高重复频率、高平均功率和高单脉冲能量的放大激光输出, 并在皮秒激光应用产业化方面做了很大努力^[6~9]。

为了降低激光器的成本并提高放大的能量提取效率, 对再生放大和多通放大进行了重新设计。本文利用半导体抽运掺钕晶体实现了 5.4 mJ、1 kHz 的 532 nm 皮秒激光放大器, 由自制的皮秒振荡器种子源, 一级再生放大器, 一个蝶形两通放大器、一级主放大器和倍频器组成。得到的放大皮秒绿光具有很高的光束质量因子和长时间能量稳定性。

2 实验装置

实验装置如图 1 所示, 种子光为一个自制的功

收稿日期: 2012-12-31; 收到修改稿日期: 2013-02-01

基金项目: 国家 863 计划(2011AA030205)和国家自然科学基金(11174361, 10874237)资助课题。

作者简介: 王 庆(1985—), 男, 博士研究生, 主要从事二极管抽运的新型全固态超快激光的产生等方面的研究。

E-mail: qingwang@iphy.ac.cn

导师简介: 魏志义(1963—), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事超强超短脉冲激光及新型全固态激光等方面的研究。

E-mail: zywei@iphy.ac.cn(通信联系人, 中国光学学会会员号: S042011136S)

率为 495 mW、重复频率为 79.5 MHz、脉冲宽度为 15 ps 的振荡器,增益晶体为 Nd:YVO₄ 晶体。

将振荡器输出的激光通过 2 级光隔离系统后注入到再生放大器中,第一级隔离系统是为了防止由于第二级隔离系统的消光比不够高返回到振荡器中影响种子源的稳定。再生腔内设置有一块 Nd:YAG 激光晶体、一片薄膜偏振片(TFP)、一个电光普克尔盒、两片曲率半径 $R=750$ mm 的凹面反射镜和三片平面反射镜。增益晶体的尺寸为 $\Phi 5$ mm \times 8 mm,掺杂浓度为 0.9%(原子数分数),晶体用铝箔包裹被

固定到紫铜水冷上,水冷温度为 12℃。抽运源为一个数值孔径为 0.22、400 μ m 芯径光纤耦合输出、中心波长为 808 nm 的二极管激光器,工作在脉冲模式,重复频率为 1 kHz,脉冲宽度为 100 μ s。二极管激光器通过一个 1:2 的成像系统聚焦到 Nd:YAG 晶体上。两片凹面反射镜共焦放置,为了使放大激光和抽运激光模式得到较好匹配,将激光晶体置于偏离腔内激光束束腰的位置,提高了放大效率,且避免了激光晶体直接置于束腰处由于功率密度过高导致的损伤。

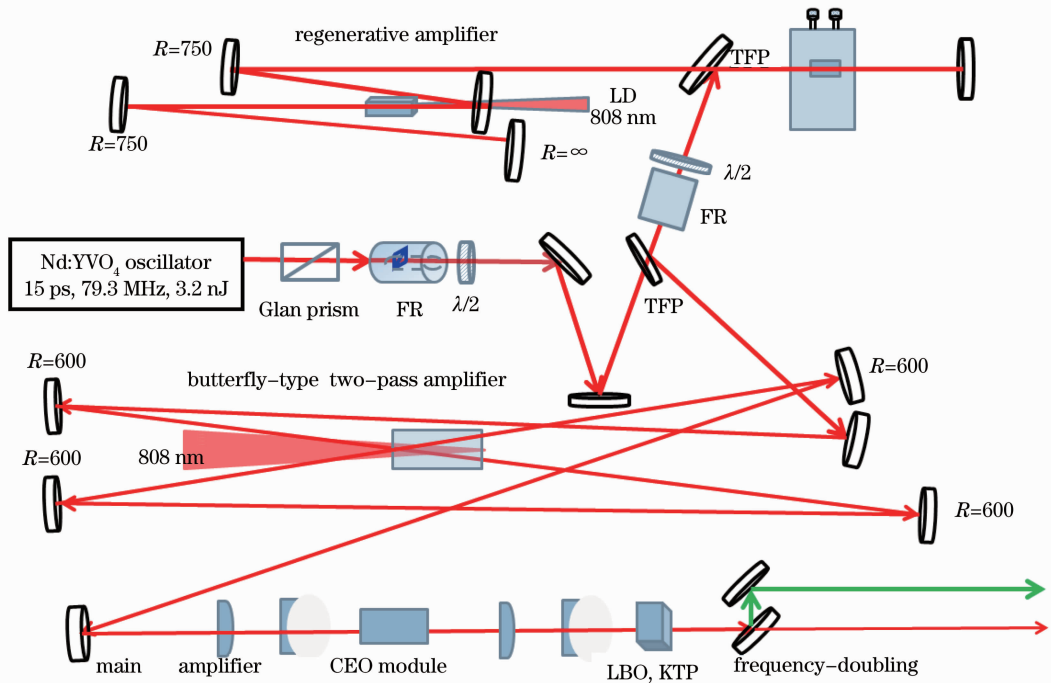


图 1 千赫兹激光放大器实验装置图

Fig. 1 Experimental setup of kHz laser amplifier

将再生放大器输出的光准直后注入到两通蝶形共焦放大器中,多通腔型采用两对共焦放置的凹面镜,凹面镜曲率半径 $R=600$ mm,凹面镀有对 1064 nm 反射率大于 99.8% 的高阈值介质膜,晶体置于偏离束腰 100 mm 处。激光晶体采用 $\Phi 5$ mm \times 8 mm 的棒状 Nd:YAG 晶体,掺杂浓度为 1%(原子数分数),双面镀有对 808 nm 和 1064 nm 两个波段的高阈值增透膜,用铝箔包裹后固定在紫铜的通水铜块中,冷却温度为 12℃。抽运源为一个数值孔径 0.22、芯径 400 μ m 光纤耦合输出、中心波长为 808 nm 的二极管激光器,工作在脉冲模式,重复频率为 1 kHz,脉冲宽度为 150 μ s。二极管激光器通过一个 1:2 的成像系统聚焦到 Nd:YAG 晶体上。

将两通蝶形放大器后的光缩束后通过一个半导体

脉冲阵列抽运的侧面抽运模块中,侧面抽运模块的晶体为 Nd:YAG,掺杂浓度为 0.6%(原子数分数),长度为 63 mm,重复频率为 1 kHz,脉冲宽度为 100 μ s。

将主放大后的放大脉冲激光准直后通过倍频器,倍频器为一个 LBO 晶体,厚度为 3 mm,晶体采用第 I 类相位匹配切割,切割角为 $\theta=90^\circ$ 和 $\varphi=11.5^\circ$ (20℃),晶体用铝箔包裹置于紫铜水冷铜块中,水冷控制在 20℃。

3 实验结果与讨论

皮秒振荡器输出激光功率为 495 mW,重复频率为 79.5 MHz,脉冲宽度为 15 ps,增益晶体为 Nd:YVO₄ 晶体,掺杂浓度为 0.5%(原子数分数)。实物图照片和脉冲宽度结果如图 2 所示。

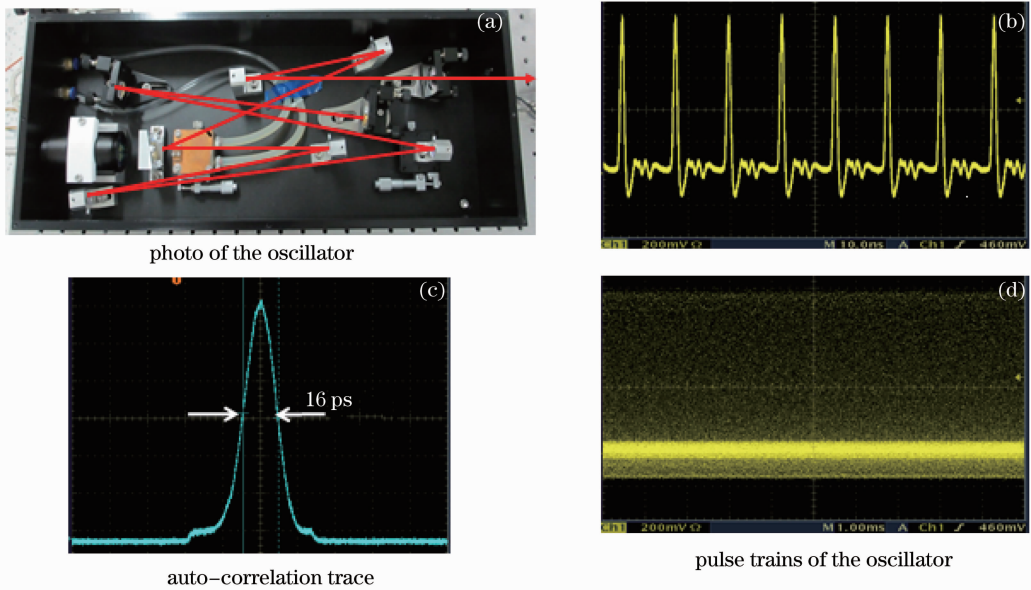


图 2 皮秒振荡器的(a)实物照片和(b)~(d)输出脉冲情况

Fig. 2 (a) Equipment photo and (b)~(d) output pulses of the ps oscillator

将种子光注入到再生放大器中,通过将振荡器种子源、二极管激光器以及普克尔盒的同步,并给予一定延时,最终在 9 mJ 的脉冲抽运下,输出 1.5 mJ 的放大光。将再生放大器输出的放大光注入到两通蝶形共焦放大器中。放大激光和抽运光在激光晶体上的夹角控制在 6° 左右,使两者的模式得到较好匹配,提高了放大效率和光束质量,且避免了直接将激光晶体置于束腰处由于皮秒激光峰值功率过高导致的晶体损伤。如图 3 所示,最终在 1 kHz、16 mJ 的 808 nm 脉冲下得到了 5.05 mJ 的放大光。利用 Spiricon 公司的 M2-200s-FW 激光光束诊断仪测出在 5.05 mJ 时,光束质量在切线和弧矢方向分别为 1.02 和 1.35。图 4 是光斑束腰随着距离的变化情况,插图为束腰处的 CCD 光斑图。最后将多通放大

输出的激光注入到侧面抽运的 Nd:YAG 放大器中,得到了 13.5 mJ 的 1064 nm 放大光,准直后通过 3 mm 厚的 LBO 晶体,在 LBO 晶体上的束腰大小为 3 mm,最终得到了 5.4 mJ 的 532 nm 皮秒放大激光,倍频效率为 40%。利用光束质量分析仪测得绿光的光束质量因子在切线和弧矢方向分别为 1.39 和 1.96,如图 5 所示,光斑略呈三角状,这是由于在侧面抽运模块中的半导体阵列呈三角形排布。图 6 给出了在 80 分钟内测得的功率变化情况,功率不稳定性小于 0.3%。

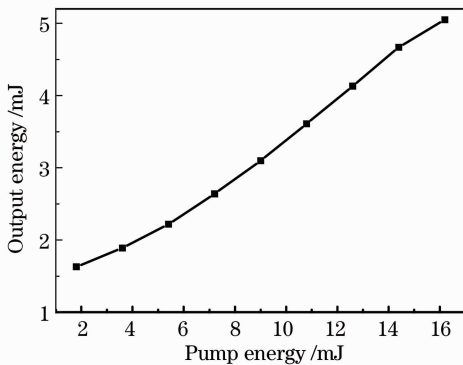


图 3 两通放大器的输入输出曲线

Fig. 3 Output energy versus pump energy of the two-pass amplifier

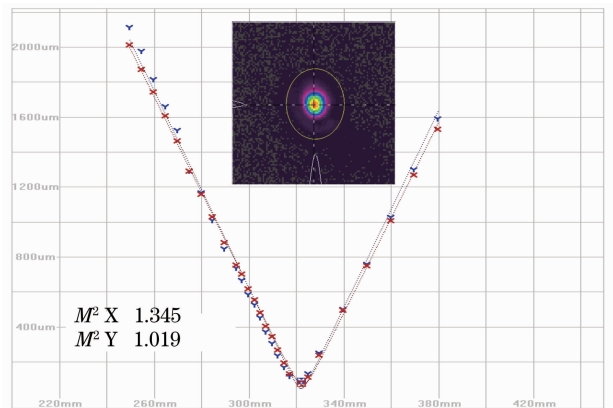


图 4 两通放大器输出激光的 M^2 因子测量结果

Fig. 4 Measured beam quality factor (M^2) of two-pass amplifier

4 结 论

本文利用半导体抽运的 Nd:YAG 晶体实现了

后续开展光参量放大研究提供了优质的抽运源。需要进一步解决的问题是主放大大利用侧面抽运脉冲模块会导致光束质量变差。

参 考 文 献

- 1 J. Kleinbauer, R. Knappe, R. Wallenstein. A powerful diode pumped laser source for micro-machining with ps pulses in the infrared, the visible and the ultraviolet [J]. *Appl. Phys. B*, 2005, **80**(3): 315~320
- 2 Q. Liu, X. Yan, M. Gong *et al.*. 103 W high beam quality green laser with an extra-cavity second harmonic generation[J]. *Opt. Express*, 2008, **16**(19): 14335~14340
- 3 E. Innerhofer, T. Südmeyer, F. Brunner *et al.*. 60-W average power in 810 fs pulses from a thin-disk Yb:YAG laser[J]. *Opt. Lett.*, 2003, **28**(5): 367~369
- 4 K. Hong, C. Lai, A. Siddiqui *et al.*. 130 W picosecond green laser based on a frequency-doubled hybrid cryogenic Yb:YAG amplifier[J]. *Opt. Express*, 2009, **17**(19): 16911~16919
- 5 R. Peng, L. Guo, X. Zhang *et al.*. 43 W picosecond laser and second-harmonic generation experiment [J]. *Opt. Commun.*, 2009, **282**(4): 611~613
- 6 Ma Yunfeng, Fan Zhongwei, Niu Gang *et al.*. 2. 5 W picosecond pulse regenerative amplifier with 100 kHz repetition rate [J]. *Chinese J. Lasers*, 2010, **37**(11): 2825~2828
麻云凤, 樊仲维, 牛 岗等. 重复频率 100 kHz, 平均功率 2.5 W 的皮秒脉冲再生放大器[J]. *中国激光*, 2010, **37**(11): 2825~2828
- 7 Ma Yunfeng, Yu Jin, Niu Gang *et al.*. 25 W high repetition rate picosecond green laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2011, **38**(12): 202010
麻云凤, 余 锦, 牛 岗等. 高重复频率 25 W 皮秒绿光激光器 [J]. *中国激光*, 2011, **38**(12): 202010
- 8 Chang Liang, Chen Meng, Li Gang *et al.*. Thermal characteristic analysis of laser diode side-pumped regenerative amplifier for kHz picosecond laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2010, **37**(3): 873~876
常 亮, 陈 檬, 李 港等. 激光二极管侧面抽运千赫兹皮秒激光再生放大器的热特性[J]. *中国激光*, 2010, **37**(3): 873~876
- 9 Huang Yutao, Fan Zhongwei, Niu Gang *et al.*. 100 kHz repetition rate picosecond regenerative amplifier with high pulse stability [J]. *Chinese J. Lasers*, 2012, **39**(5): 0502009
黄玉涛, 樊仲维, 牛 岗等. 高脉冲稳定性的 100 kHz 皮秒再生放大器[J]. *中国激光*, 2012, **39**(5): 0502009

栏目编辑: 宋梅梅

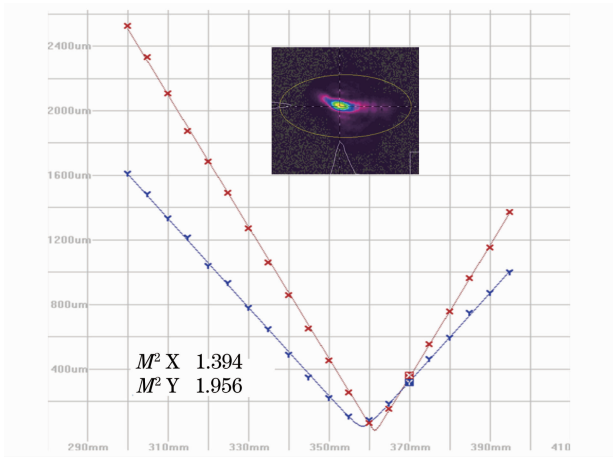


图 5 输出激光的 M^2 因子测量结果
Fig. 5 Measured beam quality factor (M^2) of 532 nm laser

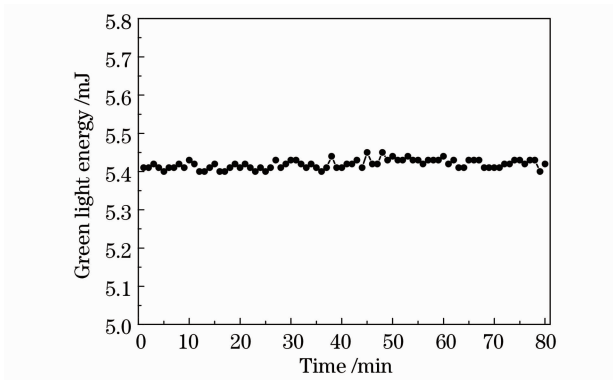


图 6 532 nm 放大光在 80 min 内的能量稳定性
Fig. 6 Measured energy stability of 532 nm laser in 80 min

5.4 mJ、1 kHz 的 532 nm 皮秒激光放大器,输出的放大光具有很高的能量稳定性和较高的光束质量。放大器由自制的皮秒振荡器种子源、一级再生放大器、一个两通放大器、一个主放大器和一个倍频器组成。本文给出的方案具有较高的效率和稳定性,为